

Małgorzata Nodzyńska
Jan Rajmund Paśko
Zakład Chemii i Dydaktyki Chemii
Instytut Biologii
Uniwersytet Pedagogiczny
Kraków

Projektowanie doświadczeń wspomaganych komputerowo jako jeden z elementów kształcenia nauczycieli chemii oraz wpływ tego typu doświadczeń na wyobrażenia uczniów o strukturze materii

[...] Pierwsze lekcje nie powinny zawierać niczego poza tym co jest eksperymentalne i interesujące do zobaczenia. Ładny eksperyment jest sam w sobie bardziej wartościowy niż dwadzieścia wzorów wydobytych z naszych umysłów.

Albert Einstein

WPROWADZENIE

1. Rola eksperymentów chemicznych w nauczaniu chemii

W nauczaniu przedmiotów przyrodniczych, w tym chemii, na wszystkich etapach kształcenia, już od XIX w., za jedną z podstawowych form aktywizacji uczniów uważa się doświadczenia laboratoryjne. Wynika to z faktu, iż w czasach największego rozwoju kierunków przyrodniczych opierały się one głównie na empirycznym procesie poznania.

Doświadczenia chemiczne proponowane w procesie edukacji do połowy XX wieku w dużej mierze odnosiły się do ilustracji procesów zachodzących wokół nas, doświadczeń dowodzących podstawowe zależności oraz do kopiowania doświadczalnych – laboratoryjnych zajęć studenckich. Rozwój chemii jako dziedziny nauki doprowadził w drugiej połowie XX wieku do powstania poglądu, że proces kształcenia w naukach przyrodniczych (w tym chemii) powinien być odzwierciedleniem procesu badawczego prowadzonego przez naukowca i powinien być związany z badaniami prowadzonymi zarówno przez nauczycieli jak i przez uczniów [Bergandy, 1997]. Również obecnie [Pietruszewska, 1985] panuje powszechne przekonanie, iż zadaniem procesu kształcenia chemicznego ma być upodobnienie do przebiegu badania naukowego. Dlatego też, za najcenniejsze metody nauczania uważa się te, w których uczniowie uczą się poprzez samodzielne odkrywanie, w tym przez doświadczenia i eksperymenty laboratoryjne [Soczewka, 1975]. Przekonanie to wspierają wyniki prowadzonych badań [Kłoczko, 1978; Matysik, 1971; Nęczyński, 1986].

Eksperyment chemiczny jest metodą, która wymaga zarówno od uczniów, jak i od nauczycieli samodzielności i aktywności w działaniu [Nodzyńska, 2005, s. 233-237]. Nie jest to termin równoznaczny z pojęciem doświadczenia chemicznego. Doświadczenie chemiczne jest zespołem czynności technicznych prowadzących do określonego efektu

natomiast eksperyment, oprócz wykonania czynności manualnych wymaga od eksperymentatora jeszcze przygotowania intelektualnego i umiejętności wykorzystania jego wyników [Soczewka, 1975]. Eksperyment (wg *Encyklopedii PWN*) to [...] *próba, doświadczenie naukowe, podstawowy oprócz obserwacji i pomiaru naukowego, zabieg badawczy polegający na celowym wywołaniu określonego zjawiska (lub jego zmiany) w warunkach sztucznie stworzonych (laboratoryjnych) oraz zbadaniu jego przebiegu, cech lub zależności* [...]. Mimo takiego, dość wyraźnego rozróżnienia definicji obu terminów, przeważnie dydaktycy chemii nie stosują ich rozróżnienia, traktując oba pojęcia zamiennie i uważając, że praca laboratoryjna stanowi podstawę nauczania chemii, a jej wartość dydaktyczna zależy od sytuacji, w jakiej jest stosowana [Galska-Krajewska, Pazdro, 1990]. Jako przykłady bardzo różnorodnego wykorzystania chemicznych doświadczeń i eksperymentów można wymienić, np:

- eksperymenty badawcze uczniów prowadzone w terenie [Grzechynka, Kaliszan, Nodzyńska, Nodzyński, 2005],
- doświadczenia i eksperymenty chemiczne w przestrzeni wirtualnej dla uczniów bardzo zdolnych [Cieśla, Stawoska, Nodzyńska, 2011, s. 103-108],
- doświadczenia i pokazy dla uczniów z niepełnosprawnością intelektualną w stopniu lekkim [Koczwarą, Nodzyńska, 2011, s. 10-14],
- doświadczenia, których celem jest kształtowanie postaw (np. proekologicznych) [Paško, 2001].

W literaturze dotyczącej dydaktyki chemii można spotkać wiele różnych podziałów eksperymentów chemicznych. Jednym z częściej używanych jest podział eksperymentów chemicznych wg Burewicza i Gulińskiej [Burewicz, Gulińska, 1993], wyróżniają oni:

- eksperyment o charakterze ilustracyjnym – nauczyciel informuje uczniów o celu i sposobie jego przeprowadzenia oraz podaje obserwacje i wnioski;
- eksperyment badawczy, czyli taki, w którym nauczyciel kieruje przebiegiem doświadczenia, ale uczniowie sami zapisują obserwację i wyciągają wnioski;
- eksperyment problemowy, gdzie uczniowie sami planują przebieg eksperymentu, przeprowadzają go i rozwiązują postawiony wcześniej problem.

Z punktu widzenia podziału pojęć na „doświadczenia chemiczne” i „eksperymenty chemiczne” można powiedzieć, że eksperyment o charakterze ilustracyjnym należy niewątpliwie do doświadczeń chemicznych, natomiast dopiero eksperyment problemowy można nazwać ściśle eksperymentem chemicznym.

W ostatnich latach można zaobserwować rezygnację nauczycieli z umożliwienia uczniom samodzielnego przeprowadzenia doświadczeń chemicznych, w większości szkół doświadczenia chemiczne prowadzone są w formie pokazu nauczycielskiego lub pokazu multimedialnego, ponieważ wykonanie eksperymentu chemicznego nie zawsze jest możliwe w szkolnej pracowni chemicznej, lub też lekcje chemii prowadzone są w zwykłych klasach, nieprzystosowanych do zajęć laboratoryjnych. Wynika to z wielu przyczyn, zarówno materialnych, jak i organizacyjnych – brak finansów na zakup odczynników i sprzętu laboratoryjnego, brak czasu na przeprowadzanie doświadczeń, a także brak czasu na ich wcześniejsze przygotowanie oraz późniejsze posprzątanie miejsca, w którym prowadzono eksperyment. Istotną rolę odgrywa również szeroko rozumiane bezpieczeństwo.

Nauczyciele często obawiają się także o bezpieczeństwo uczniów, gdyż prowadzenie przez uczniów doświadczeń chemicznych w trzydziestoosobowej grupie uniemożliwia nauczycielowi bezpieczne kontrolowanie poczynąń wszystkich eksperymentatorów. Pracochłonne i czasochłonne bywa nie tylko samo przygotowanie czy wykonanie doświadczenia, ale również gospodarowanie odczynnikami chemicznymi – przechowanie i zabezpieczenie substancji, sprawdzanie okresu ważności, etykiety, metki, spisy, karty charakterystyk substancji, a wszystko to jest regulowane przez odpowiednie przepisy [Cieśla, Paśko, 2006, s. 187-190]. Ponadto, jak podaje J. Paśko coraz większa część uczniów boi się kontaktu z odczynnikami [Paśko, 2006, s. 27-31] oraz spada zainteresowanie samodzielnym wykonywaniem doświadczeń przez uczniów. Często przeszkodą w wykonaniu eksperymentu jest czas niezbędny na jego realizację, wykraczający poza jednostkę lekcyjną. Nie wszystkie z podawanych przez nauczycieli przyczyn usprawiedliwiają zaniechanie wykonywania choćby prostych, ale kształcących doświadczeń chemicznych. W wielu przypadkach stanowią one próbę wytłumaczenia dlaczego rezygnują w czasie lekcji z umożliwienia uczniom bezpośredniej obserwacji zachodzących procesów i na ich podstawie wyciągania odpowiednich wniosków. Większość wyżej wymienionych trudności nauczyciele eliminują – wykluczając eksperymenty uczniowskie, zastępując je tylko pokazem lub, co gorsze, opisem z podręcznika. Coraz częściej doświadczenia zastępuje się pokazem filmu wideo lub filmu odtworzonego przy pomocy komputera. Jednak samo oglądanie pokazu doświadczeń – czy to w wykonaniu nauczyciela, czy z zastosowaniem multimediiów – w niewielkim tylko stopniu aktywizuje uczniów. Sprowadzenie eksperymentu uczniowskiego do obserwacji pokazu lub wyświetlenia odpowiedniej sekwencji filmowej nie ma pełnych walorów kształcących dla uczniów. Stwierdzenie to popierają również wyniki badań wykazujące, iż ćwiczenia wykonywane w większych grupach (cztero- pięcio- i więcej osobowych) mają takie same efekty dydaktyczne, jak pokazy nauczycielskie a zdecydowanie mniejsze niż samodzielna praca uczniów lub praca w grupach 2-3 osobowych [Burewicz, Gulińska, 1993]. Pokazy można zaklasyfikować do eksperymentów o charakterze ilustracyjnym lub ewentualnie do eksperymentów badawczych – czyli do „doświadczeń chemicznych”. Nie można ich jednak uznać za eksperyment problemowy – czyli „eksperyment chemiczny”.

Przekonanie dydaktyków chemii [Bogdańska-Zarembina, 1970; Galska-Krajewska, 1990] i nauczycieli o konieczności upodobnienia procesu kształcenia chemicznego do przebiegu badań naukowych, połączone z brakiem warunków i czasu na przeprowadzanie wielu doświadczeń, sprowadza nauczanie chemii do form karykaturalnych. Jako podstawę do myślenia logicznego uczniów i wyciągania wniosków przedstawia się uczniom tylko jedno doświadczenie. Podejście takie jest sprzeczne z naukowym podejściem, nikt bowiem nie sformułuje żadnego prawa ani teorii na podstawie tylko jednego eksperymentu. Takie „pojedyncze” pokazywanie doświadczeń (tylko jednego i to zachodzącego w konkretnych warunkach) powoduje, że uczniowie poznają tylko pewne „przypadki” zachodzących reakcji chemicznych. Nie wiedzą jednak, jakie inne reakcje tego typu zachodzą i w jakich dzieje się to warunkach, czy dana reakcja będzie przebiegała po zmianie jednego substratu na drugi, gdy należą one obydwu do tej samej grupy połączeń. Pojawia się zatem problem. Z jednej strony, aby proces kształcenia chemicznego był podobny do przebiegu badania naukowego,

uczniowie powinni wykonywać samodzielnie jak najwięcej doświadczeń i na ich podstawie wyciągnąć ogólne wnioski, a następnie stworzyć ogólną teorię dotyczącą danego rodzaju reakcji chemicznej. Z drugiej strony ograniczenia organizacyjne, finansowe i czasowe powodują, że w nauczaniu chemii uczniowie najczęściej spotykają się z pokazem pojedynczego doświadczenia. Wydaje się, że jednym z rozwiązań tego problemu byłyby interaktywne „doświadczenia” komputerowe [Moroń, Nodzyńska, 2004, s. 153-158].

Ponieważ jednak chemia należy do przedmiotów przyrodniczych i bez wątpienia jest nauką eksperymentalną, bardzo istotne jest właściwie dobranie i wykonanie eksperymentu chemicznego. Pozwala to uczniom na samodzielne zaobserwowanie zachodzących zmian i wyciągnięcie wniosków na podstawie tych obserwacji. Takie działanie ułatwia uczniom zapamiętanie i zrozumienie istoty zachodzącego procesu.

Dzięki niemu uczą się krytycyzmu w stosunku do wyników doświadczenia oraz sposobów szukania i sprawdzania tych wyników. Uczniowie uczą się porządku, odpowiedzialności, przestrzegania zasad bezpieczeństwa i higieny pracy. Ale również odczuwają potrzebę planowania przyszłego działania oraz szukania odpowiedzi na nurtujące ich pytania [Fried, 1989].

2. Komputer w eksperymencie chemicznym

Wśród środków dydaktycznych wykorzystywanych w procesie kształcenia komputer zajmuje miejsce szczególne. Może on pełnić w procesie nauczania-uczenia się nie tylko funkcję środka dydaktycznego, ale również, ze względu na możliwości organizowania procesu uczenia się, rolę metody nauczania. Wykorzystanie komputerów w edukacji datuje się od wprowadzenia komputerów 8-bitowych (lata 80. XX w). Szybki rozwój technik komputerowych spowodował, iż obecnie znajdują one coraz szersze zastosowanie w edukacji, w tym także w nauczaniu chemii na wszystkich poziomach edukacji [Хаджилиев, Такучев, Атанасов; 2005, s. 184-188]. Np. wg Burewicza i Gulińskiej [Burewicz, Gulińska, 1990] włączenie komputera w proces nauczania może stanowić jeden z ważnych czynników wpływających na:

- indywidualizację nauczania (zarówno tempa, czasu jak i treści);
- motywację uczenia się oraz działań badawczych uczniów;
- uatrakcyjnienie lekcji;
- przyspieszenie i ułatwienie zapamiętywania;
- uzyskanie lepszych wyników nauczania-uczenia się.

Natomiast Janiuk i Persona [Janiuk, Persona, 1988] uważają, że w nauczaniu chemii komputery mogą znaleźć zastosowanie na wszystkich szczeblach edukacyjnych, w takich dziedzinach jak:

- przyspieszenie obliczeń chemicznych;
- zbieranie, wyszukiwanie, udostępnienie i graficzne odtwarzanie różnego rodzaju danych i informacji;
- przygotowywanie uczniów do wykonywania doświadczeń;
- weryfikowanie wiarygodności i dokładności wyników doświadczeń uczniowskich i ich przetwarzanie;
- symulowanie procesów przebiegających bardzo wolno lub bardzo szybko;

- modelowanie struktur związków chemicznych;
- sprawdzanie wiadomości i umiejętności uczniów z możliwością oceny, wskazania kroków i sposobów ich eliminowania, a także przeprowadzanie samokontroli;
- kierowanie różnego rodzaju dydaktycznymi grami decyzyjnymi, które uczą działania i ułatwiają poznawanie rozmaitych sytuacji.

W zależności od typu lekcji komputery mogą pełnić różną rolę. Przykładowo:

- na lekcjach o charakterze teoretycznym komputery mogą służyć ilustracji przekazywanych wiadomości;
- na lekcjach poświęconych kształceniu umiejętności praktycznych mogą być wykorzystywane do przygotowania przewidzianych programem zajęć praktycznych, instruktażu w dokonywaniu różnorodnych obliczeń i rozwiązywaniu problemów chemicznych;
- na lekcjach typu kontrolnego komputer może ułatwiać prowadzenie testów dydaktycznych, gromadzić w pamięci zadania testowe i po określeniu przez nauczyciela warunków przebiegu kontroli wybierać odpowiednią liczbę i poziom zadań, uwalniać nauczyciela od żmudnych i czasochłonnych czynności przygotowywania pytań testowych i sprawdzania wyników testu.

Szczególną rolę mogą pełnić komputery w eksperymentach chemicznych prowadzonych podczas lekcji. Mogą bowiem, jak już wspomniano wcześniej, przygotować i wprowadzać uczniów do samodzielnego wykonywania doświadczeń (stanowiąc swoistą instrukcję wykonania doświadczenia), mogą weryfikować wiarygodność i dokładność wyników uzyskanych przez uczniów, symulować procesy przebiegające bardzo wolno lub bardzo szybko, mogą również stanowić wirtualne laboratoria oraz zbierać dane z realnych doświadczeń, przetwarzać te dane, wykonywać na ich podstawie obliczenia, rysować wykresy itp. Ostatnie 3 możliwości komputerów zostaną omówione nieco szerzej.

„Symulacja to odwzorowanie rzeczywistości stosowane wtedy, gdy bezpośrednia obserwacja jest niemożliwa, bądź to ze względu na bezpieczeństwo, nieosiągalność istniejącego zjawiska, czy procesu, a także wtedy, gdy przemiany zachodzą zbyt szybko lub zbyt wolno” [Burewicz, Gulińska, Miranowicz, Szmidt, 1992, s. 35]. Można powiedzieć, że symulacja komputerowa pozwala na:

- wielokrotne powtarzanie kolejnych fragmentów,
- dialog ucznia z programem,
- eksperymentalne wprowadzenie zmian układu, umożliwiające wnioskowanie o jego zachowaniach,
- obserwację przestrzenną i animowaną układów i procesów.

Wirtualne laboratoria są odpowiedzią na postulat części dydaktyków, by proces kształcenia chemicznego był podobny do przebiegu badania naukowego. Aby tak się działo, uczniowie powinni wykonywać samodzielnie jak najwięcej doświadczeń i na ich podstawie wyciągnąć ogólne wnioski. A następnie stworzyć ogólną teorię dotyczącą danego rodzaju reakcji chemicznej. Jednak ograniczenia organizacyjne, finansowe i czasowe powodują, że w nauczaniu chemii uczniowie najczęściej spotykają się z pokazem pojedynczego doświadczenia (czy to przedstawionym w „realu” czy w postaci filmu lub prezentacji multimedialnej). Dlatego też wydaje się, że jedynym rozwiązaniem tego problemu są

interaktywne „doświadczenia” komputerowe. Ideę interaktywnych doświadczeń komputerowych przedstawiono w artykule *Interaktywne komputerowe doświadczenia w nauczaniu chemii* [Nodzyńska, Paško, 2007, s. 172-181] na przykładzie programu komputerowego pozwalającego uczniom na samodzielne zapoznanie się z reaktywnością metali

w zetknięciu się ich z wodnymi roztworami kwasów. W programie tym ekran monitora zastępuje stół laboratoryjny, nad którym znajdują się dwie półki:

- na „górną półkę” znajdują się zdjęcia butelek różnych kwasów o różnych stężeniach,
- na „dolnej półce” znajdują się zdjęcia metali.

Zarówno zdjęcia butelek z kwasami, jak i zdjęcia metali, są równocześnie przyciskami pozwalającymi na wybranie danej substancji. W programie tym uczeń ma możliwość wyboru dowolnego z prezentowanych kwasów oraz dowolnego metalu, może też wybrać czy chce daną reakcję przeprowadzić w temperaturze pokojowej, czy też, np. ogrzać substraty w płomieniu palnika. Po wybraniu warunków prowadzenia eksperymentu i ich akceptacji na środku ekranu ukazuje się krótki film przedstawiający przebieg reakcji chemicznej w zadanych przez ucznia warunkach. Ponieważ cała procedura wyboru substratów reakcji, jak i jej warunków oraz oglądnięcie sekwencji filmowej zajmuje bardzo niewiele czasu, uczeń ma zatem możliwość wykonania wielu wirtualnych eksperymentów na jednej lekcji chemii. Podstawową zaletą tego programu jest to, że uczeń samodzielnie dokonuje wyboru substratów reakcji oraz warunków, w jakich ta reakcja zachodzi. Warunki i substraty reakcji nie są ściśle narzucone przez nauczyciela, zwiększa się więc inwencja uczniów, co powoduje większą ich aktywizację i motywację. Kolejną zaletą programu jest to, że każdy uczeń może sam projektować i wykonywać doświadczenia wirtualne, co powoduje daleko posuniętą indywidualizację nauczania. Inną zaletą programu jest zapewnienie bezpieczeństwa uczniów. Wielu z ukazywanych w tym programie doświadczeń nie moglibyśmy nie tylko pozwolić wykonać uczniom samodzielnie, ale nawet ukazać w formie pokazu nauczycielskiego, np. ze względu na wydzielające się trujące tlenki azotu lub siarki. Dodatkowo wirtualne wykonywanie tych doświadczeń nie stwarza zagrożenia dla uczniów ze strony żrących substancji chemicznych (np. stężonych kwasów). W ten sposób uczniowie mogą wirtualnie przeprowadzać takie reakcje, przy przebiegu których – w przypadku niezbyt precyzyjnego ich wykonania – może nastąpić zagrożenie dla zdrowia i bezpieczeństwa ucznia.

Badania przeprowadzone wśród uczniów gimnazjów wykazały duże zainteresowanie tego typu doświadczeniami. Równocześnie potwierdziły założenia tego typu działań, uczniowie podczas jednej lekcji byli w stanie „wykonać” wiele wirtualnych eksperymentów, dlatego też wyciągnięte wnioski dotyczące reaktywności metali w reakcji z kwasami były pełne i poprawne i nie zawierały fałszywych uogólnień.

Także na stronach wielu uniwersytetów znajdują się wirtualne laboratoria, pozwalające na wykonywanie eksperymentów chemicznych na komputerze. Jako przykłady tego typu stron można wymienić:

<http://www.chemcollective.org/vlab/vlab.php>

http://www.chem.ox.ac.uk/vrchemistry/livechem/transitionmetals_content.html

<http://www.virtlab.com/>

W trakcie edukacji chemicznej na tych uniwersytetach część zajęć laboratoryjnych odbywa się w przestrzeni wirtualnej. Częściowe wprowadzenie tego rodzaju doświadczeń na zajęciach laboratoryjnych z chemii na UP spotkało się z różnorodnym odzewem. Studenci kierunków: Chemia i Geografia – wypowiedzieli się negatywnie o tego typu działaniach. Natomiast studenci Biologii generalnie preferowali eksperymenty wirtualne od realnych.

Kolejnym zastosowaniem komputerów jest użycie ich do zbierania danych i ich przetwarzania. Przykładem tego typu działań są urządzenia firmy Vernier pozwalające na zbieranie danych doświadczalnych, a następnie ich przetwarzanie za pomocą komputera.

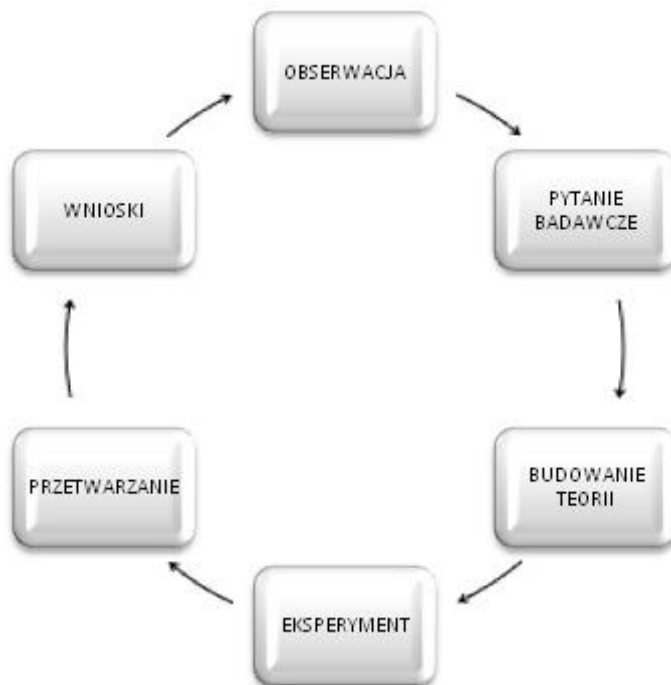
Wykorzystanie komputera do zbierania i przetwarzania danych pozwala na:

- uproszczenie metody pomiaru;
- pomiaru wartości w bardzo krótkich odstępach czasu (poniżej 1 sekundy) lub ciąglem;
- pomiaru wartości w długich odstępach czasu (długoterminowe obserwacje).

Komputerowy pomiar danych i ich rejestracja umożliwia pomiar w ustalonych interwałach czasowych, pomiar w wybranym przez obserwatora momencie lub rejestracja mierzonej wartości w stosunku do innej wartości. Komputer zapewnia równoległy graficzny zapis, zapisywanie i ocenę danych eksperymentalnych. Kolejnym atutem tak rejestrowanych eksperymentów jest natychmiastowa i bardzo prosta wymiana czujników, np. zmiana cyfrowego termometru na cyfrowy pH-metr itp. umożliwia to wykonanie wielu rodzajów typów pomiarów na jednej lekcji.

3. Projektowanie eksperymentów a postawa badawcza

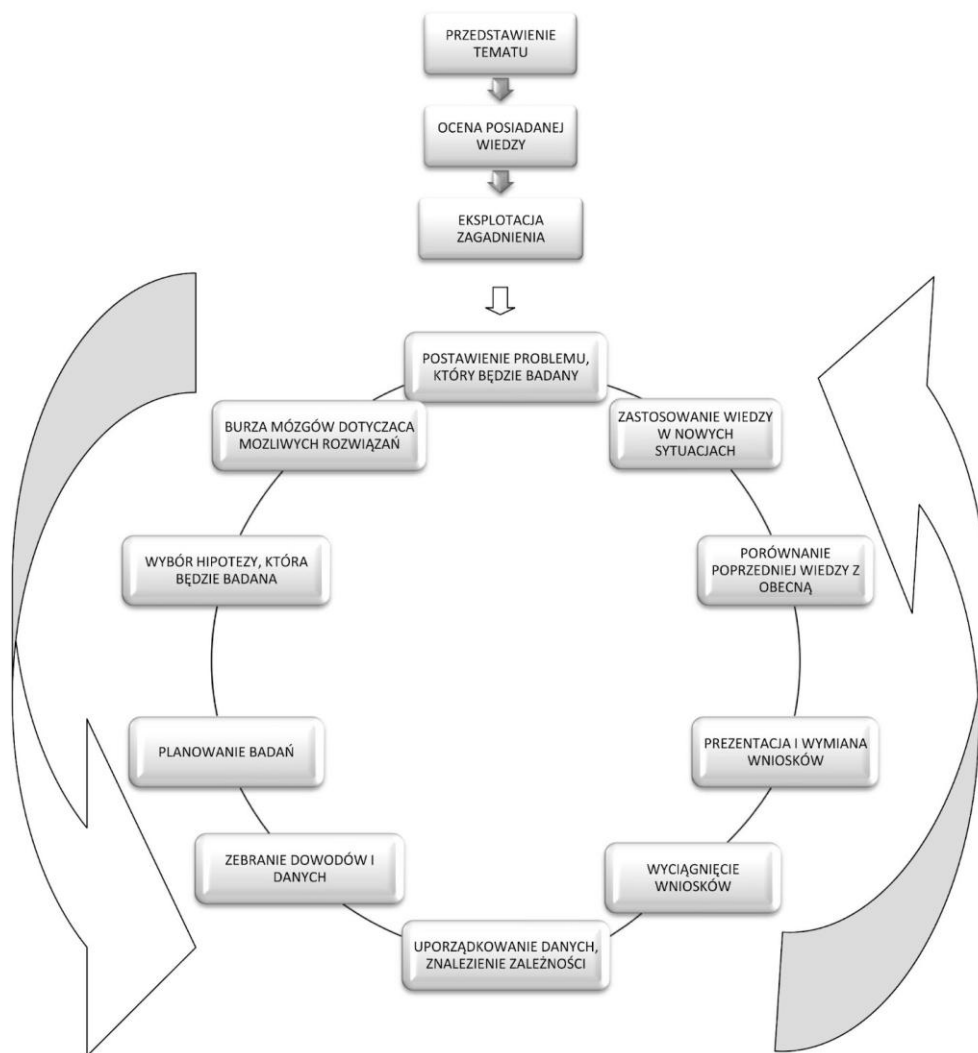
Obecnie bardzo modną tendencją w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych jest IBSE – (Inquiry Based Science Education), co można przetłumaczyć jako nauczanie przedmiotów przyrodniczych przez dociekanie naukowe lub przez odkrywanie. Definicja IBSE [Linn, Davis, Bell, 2004] mówi: *Dociekanie naukowe to intencjonalny proces polegający na diagnozowaniu problemów, dokonywaniu krytycznej analizy eksperymentów i znajdowaniu alternatywnych rozwiązań, planowaniu badań, sprawdzaniu hipotez, poszukiwaniu informacji, konstruowaniu modeli, dyskusji z kolegami oraz formułowaniu spójnych argumentów.* W Polsce koncepcja ta była znana od lat 60. XX w. Pierwszy schemat tego typu nauczania przedstawił Wincenty Okoń w swojej pracy pod tytułem *Wielostronne uczenie się a problem aktywności uczniów*, a rozszerzoną wersję tej teorii przedstawiają dwie jego książki: *Podstawy wykształcenia ogólnego* (1967) i *Nauczanie problemowe we współczesnej szkole* (1975). Jednak IBSE powraca do jeszcze starszej idei – do omawianej wcześniej koncepcji, by edukacja szkolna była odbiciem pracy badawczej naukowca.



Rys. 1. Sześciostopniowy cykl badania i modelowania opartego na dociekanii naukowym
 [Guide for developing Establish Teaching and Learning Units. Project ESTABLISH.
 AMSTEL Institute, 2010]

Jak można zauważyć, proces nauczania oparty o teorię IBSE powinien stwarzać uczniom sytuacje problemowe, w których to uczeń samodzielnie definiuje pytanie badawcze, a następnie w oparciu o dociekanie naukowe stara się znaleźć na nie odpowiedź. Nie jest to jednak koniec procesu badawczego, ponieważ otrzymane wyniki powinny stanowić punkt wyjścia do formułowania kolejnych, coraz bardziej ogólnych praw i definicji.

Podstawą teoretyczną IBSE stanowią zasady konstruktywizmu. Zdaniem twórców tej teorii w umyśle ludzkim zachodzi proces nadawania znaczenia doświadczeniu [Wygotski, 1991]. Co oznacza, że ludzie uczą się w interakcji z otoczeniem, aktywnie konstruując własną wiedzę i wykorzystując wiedzę już posiadaną. W procesie edukacji uczniowie poprzez obserwacje, eksperymentowanie, wnioskowanie tworzą własne modele myślowe.



Rys. 2. Konstruktywistyczny cykl dociekania (uproszczona wersja na podstawie Llewellyn, 2002) [Guide for developing Establish Teaching and Learning Units. Project ESTABLISH. AMSTEL Institute, 2010]

Jak można zatem wnioskować nauczanie-uczenie się wymaga od wszystkich zainteresowanych nim stron postawy aktywnej i badawczej. Przystawanie i powtarzanie gotowych wzorców nie prowadzi do pełnego zrozumienia i opanowania materiału przedmiotu, zamyka też drogę do dalszego kształcenia się w tej dziedzinie – drogę do zostania naukowcem.

Jak już wspomniano wcześniej obecnie uczniowie rzadko kiedy mają możliwość rzeczywistego eksperymentowania, a nie wykonywania doświadczeń ściśle wg wskazówek i wytycznych nauczyciela i to mimo, że w podstawie programowej wyraźnie jest zapisane, że „uczeń samodzielnie projektuje i wykonuje doświadczenia”.

Wykonywanie doświadczeń jedynie wg instrukcji oraz oglądanie nieustannie tych samych pokazów prowadzi do zabicia wyobraźni uczniów. Nie potrafią oni, np. powtórzyć w warunkach domowych doświadczeń wykonywanych na lekcji ze względu na fakt, iż w domu mają do dyspozycji inne substraty, niż te użyte na lekcji.

4. Proces kształcenia nauczycieli a umiejętność projektowania doświadczeń

W procesie nauczania nauczycieli do tej pory nie zwracano szczególnej uwagi na umiejętność samodzielnego projektowania doświadczeń, zakładając niejako, że ukończenie 5-letnich studiów z chemii powinno wykształcić u nauczyciela chemii nie tylko manualną sprawność w wykonywaniu doświadczeń i pieczę o bezpieczeństwo, ale i swego rodzaju plastyczność pozwalającą na samodzielne zaprojektowanie doświadczenia lub zmianę jego warunków. Jednak zmniejszanie się z roku na rok liczby zajęć laboratoryjnych na studiach i przychodzenie na 1 rok studentów coraz mniej manualnie przygotowanych do prac w laboratorium powoduje, że coraz więcej nauczycieli chemii i przyrody ma problemy z samodzielnym przygotowaniem doświadczenia. W związku z tym podjęto próbę wprowadzenia nowego typu ćwiczeń w ramach zajęć z dydaktyki chemii. W ramach kolejnego (czwartego) cyklu zajęć z dydaktyki chemii studenci mieli samodzielnie zaprojektować doświadczenia chemiczne na zajęcia szkolne – w tym doświadczenia z wykorzystaniem komputera (systemu Vernier). Do dyspozycji studentów była przystawka mierząca temperaturę, pH i widzialny zakres widma. Zadaniem studentów było:

- wymyślenie doświadczeń, przy których można wykorzystać tę aparaturę;
- opracowanie szczegółowego przepisu wykonania doświadczenia;
- weryfikację eksperymentalną;
- dokonanie poprawek w opisie doświadczenia;
- zaproponowanie jakie zmiany mogą być wprowadzone w danym doświadczeniu (substraty, temperatura, zakres pomiaru);
- stwierdzenie, jak dane doświadczenie wpłynie na wyobrażenia uczniów o budowie materii.

Jak widać kolejne kroki podejmowane przez studentów, przyszłych nauczycieli, odpowiadały kolejnym działaniom w teorii IBSE.

5. Praktyka

W praktyce okazało się, że zadanie postawione przed studentami jest bardzo trudne. Najwięcej problemów sprawiało im wymyślenie ogólnego zakresu doświadczenia, np. mieli problem z wymyśleniem, że jeżeli mają użyć czujnika temperatury powinni poszukać doświadczeń egzo- i endotermicznych, przechodzących w fazie ciekłej. Po konsultacjach z prowadzącymi i wspólnym określeniu ogólnego zakresu doświadczeń, kolejne kroki przebiegały w miarę sprawnie. Aczkolwiek opracowanie przepisu, tak by doświadczenie za każdym razem przebiegało bezproblemowo i stworzenie czytelnego opisu doświadczenia –

tak, by każdy mógł z niego korzystać, zajęło studentom dużo czasu i nie obyło się też bez uwag i pomocy prowadzących. Kolejną trudność dla studentów, przyszłych nauczycieli, stanowiło wyjaśnienie przebiegu doświadczenia i obserwowanych jego efektów w mikroświecie oraz określenie jaki wpływ na wyobrażenie uczniów o budowie materii będzie miało to doświadczenie.

Przykładowe doświadczenie zaproponowane przez studentów:

Pehametr jako urządzenie do pomiaru pH roztworów jest znane od dawna. Jednak połączenie go z odpowiednim programem komputerowym stwarza nowe możliwości w wykonywaniu ćwiczeń.

Miareczkowanie w dziale określanym jako alkacymetria jest wykonywane zgodnie z od dawna ustalonymi schematami. W przypadku miareczkowania mocnych kwasów mocnymi wodorotlenkami, a zwłaszcza gdy kwasy są jednoprotonowe nie budzi żadnych zastrzeżeń. Miareczkowanie prowadzi się w obecności wskaźnika, który swoją barwę zmienia przy pH równym 7. Takim wskaźnikiem może być błękit bromotymolowy. Wykorzystując pH-metr połączony z odpowiednim programem komputerowym można też miareczkować dokonując odpowiednio często pomiarów pH miareczkowanego roztworu. (Jest to o tyle wygodne, że pomiar jest dokonywany automatycznie przez urządzenie i zapisywany przez komputer.)

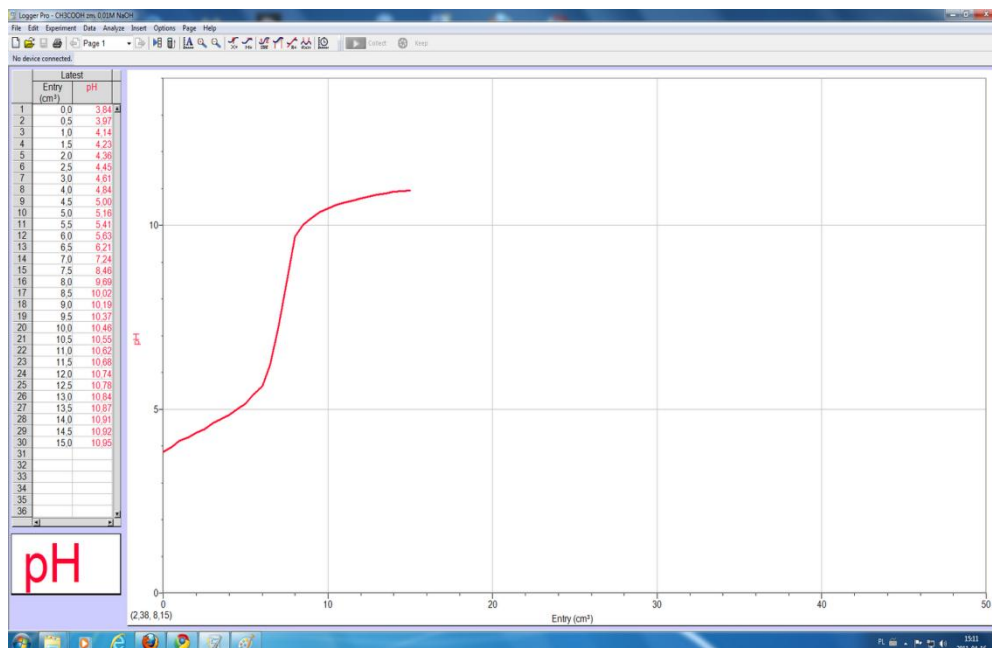
Sytuacja trochę się komplikuje, gdy miareczkujemy słaby kwas. Wtedy pH w punkcie równoważności miareczkowanie nie jest równe 7, a zależy od stałej dysocjacji kwasu. W tym przypadku będzie ono większe od 7. Wobec jakiego wskaźnika miareczkować, dowiadujemy się z przepisu na miareczkowanie roztworu danego kwasu. Przy jakim pH osiągamy w danym miareczkowaniu punkt równoważności dowiadujemy się z krzywych miareczkowania. W punkcie równoważności miareczkowania mocnego kwasu mocnym wodorotlenkiem zmiana pH jest bardzo widoczna, już mniej gdy miareczkujemy słaby kwas mocnym wodorotlenkiem lub odwrotnie. Natomiast w przypadku miareczkowania roztworu amoniaku kwasem octowym to w punkcie równoważności miareczkowania następuje bardzo mała zmiana, co widać na krzywej miareczkowania. I jest to punkt bardzo trudny do zaobserwowania przy użyciu klasycznych wskaźników stosowanych w alkacymetrii.

Wyznaczanie krzywych miareczkowania metodami klasycznymi jest czasochłonnym zajęciem, dlatego jest ona bardzo rzadko wykonywane w ramach ćwiczeń uczniowskich lub studenckich, dlatego wykorzystanie czujnika połączonego z komputerem umożliwia wykonywanie tych doświadczeń.

Odpowiedni pehametr połączony z programem komputerowym pozwala na bieżące rejestrowanie pH roztworu, a wyniki pomiaru są odpowiednio często automatycznie zapisywane. Ćwiczenie takie można wykonać bez specjalnego nakładu czasu i pracy. Do jego przeprowadzenia potrzebne są (oprócz urządzenia pomiarowego, programu i komputera) biureta, pipeta o pojemności 10 cm³, mieszadło magnetyczne, erlenmayerka, roztwory o stężeniu 0,1 mol*dm⁻³ wodorotlenku sodu oraz słabego kwasu np. kwasu octowego.

Do erlenmayerki nalewamy dokładnie odmierzone 10 cm³ np. kwasu octowego o stężeniu 0,1 mol*dm⁻³. Erlenmayerkę z roztworem stawiamy na mieszadle magnetycznym i wprowadzamy do niej elektrodę będącą zarazem odbiorcą stężenia jonów oksoniowych

w roztworze. Po uruchomieniu programu komputerowego przy włączonym mieszadle dodajemy kroplami z biurety roztwór wodorotlenku sodu o stężeniu $0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Gdy dodamy 10 cm^3 roztworu wodorotlenku sodu zaznaczamy to miejsce na krzywej zmiany pH rysowanej przez program, po czym dodajemy następne 10 cm^3 roztworu wodorotlenku sodu. W ten sposób otrzymujemy na monitorze komputera wykres krzywej miareczkowania. Z wykresu odczytujemy ile wynosi pH w punkcie równoważności miareczkowania. Na podstawie uzyskanej krzywej miareczkowania można omówić dobór wskaźników barwnych wykorzystywanych do ustalenia punktu równoważności. Użycie do doświadczenia innych kwasów organicznych pozwoli na ustalenie pH w punkcie równoważności miareczkowania. Uzyskane wyniki pozwalają na wyciągnięcie wniosku, że pH w punkcie równoważności miareczkowania uzależnione jest od stałej dysocjacji słabego kwasu (w przypadku użycia do miareczkowania roztworu mocnego wodorotlenku).

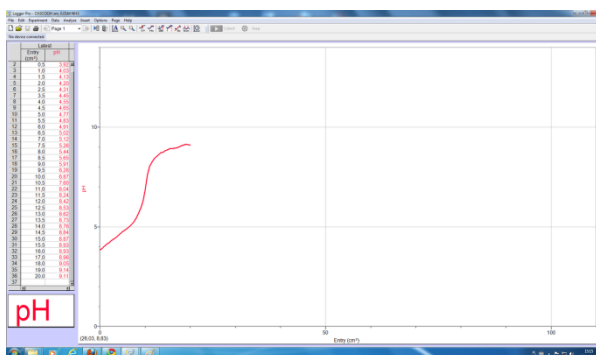


Rys. 3. Przykładowa krzywa miareczkowania kwasu octowego $0,01 \text{ m NaOH}$ przy zastosowaniu systemu Vernier

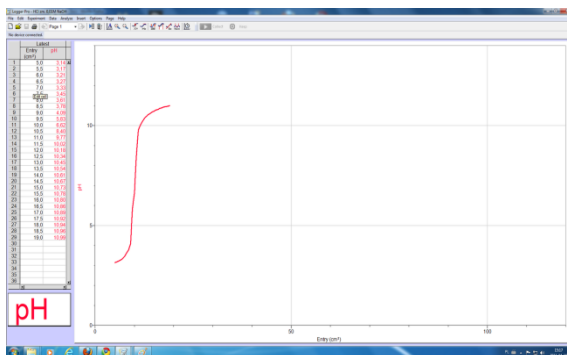
Wykorzystując tego typu ćwiczenie można wykazać, jaki przebieg ma krzywa miareczkowania, gdy miareczkujemy np. roztwór amoniaku, roztworem kwasu solnego, roztworem kwasu mrówkowego i wreszcie roztworem kwasu octowego. W tym przypadku komputer ułatwia nam szybki zapis danych i precyzyjnie sporządza wykres. Natomiast uczeń, student może skupić się na porównaniu otrzymanych wyników z różnych operacji. Może też wyciągnąć dalej idące wnioski. Krzywe miareczkowania to nie tylko zapis zmiany pH w czasie miareczkowania. To także podstawy do dyskusji dlaczego w przypadku kwasu i wodorotlenku o różnej stałej dysocjacji pH w punkcie miareczkowania jest różne i tylko w pewnych przypadkach wynosi 7. Przy pomocy takiego urządzenia można wykreślić

krzywą zmiany pH roztworu buforowego w czasie dodawania do niego roztworu mocnego kwasu lub mocnego wodorotlenku, a także w przypadku rozcieńczenia. Taki wykres sporządzany w czasie doświadczenia pozwala również zrozumieć co to jest pojemność buforowa i od czego ona zależy. Można też sporządzić krzywą zmiany pH w czasie zachodzenia niektórych reakcji.

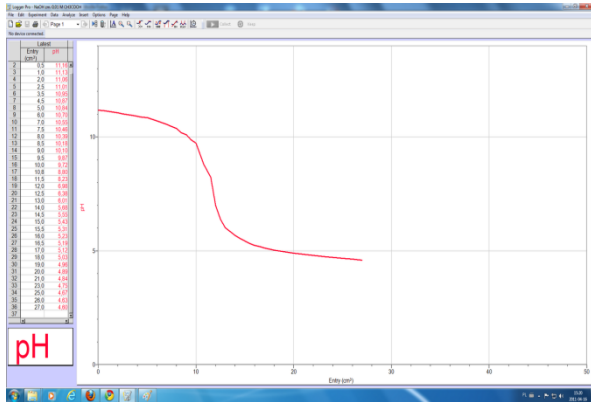
Tabela. 1. Przykładowe krzywe miareczkowania otrzymane przez studentów dla kwasów i zasad w zależności od dobranych parametrów (w tym kroku zapisu).



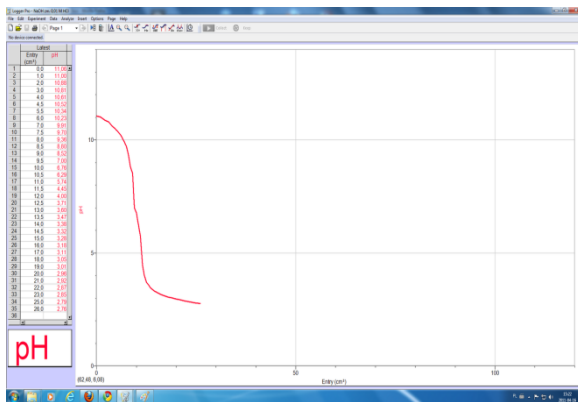
Miareczkowanie roztworu kwasu CH_3COOH roztworem $0,01 \text{ M NH}_3$



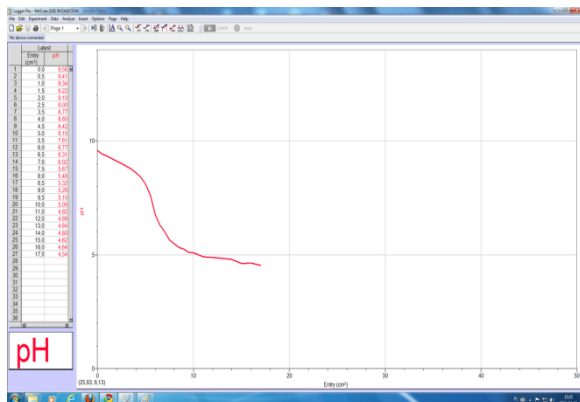
Miareczkowanie roztworu kwasu HCl roztworem $0,01 \text{ M NaOH}$



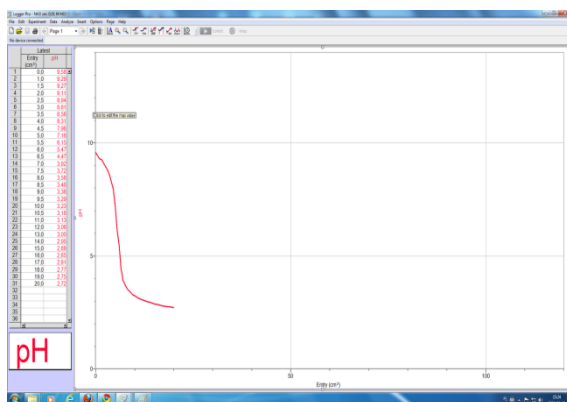
Miareczkowanie roztworu zasady NaOH roztworem 0,01 M CH_3COOH



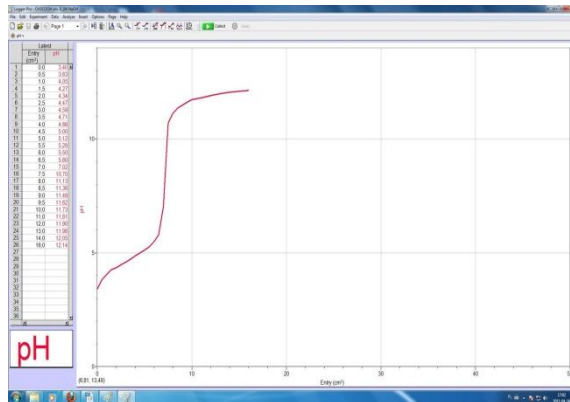
Miareczkowanie roztworu zasady NaOH roztworem 0,01 M HCl



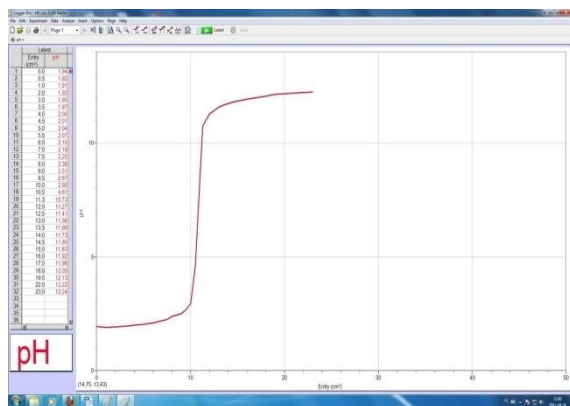
Miareczkowanie roztworu zasady NH_3 roztworem $0,01 \text{ M}$ CH_3COOH



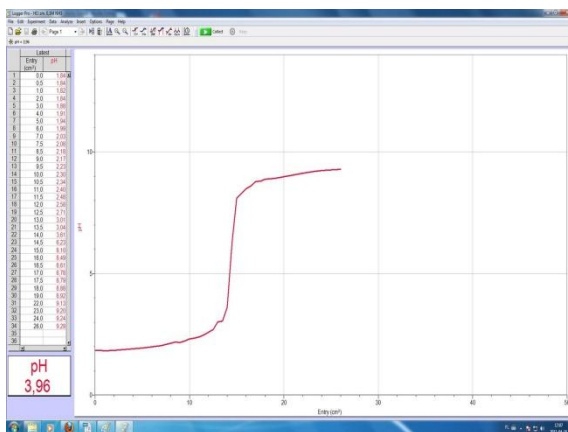
Miareczkowanie roztworu zasady NH_3 roztworem $0,01 \text{ M}$ HCl



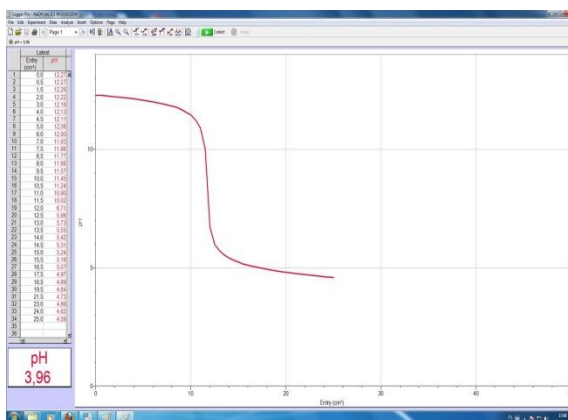
Miareczkowanie roztworu kwasu CH_3COOH roztworem $0,1 \text{ M NaOH}$



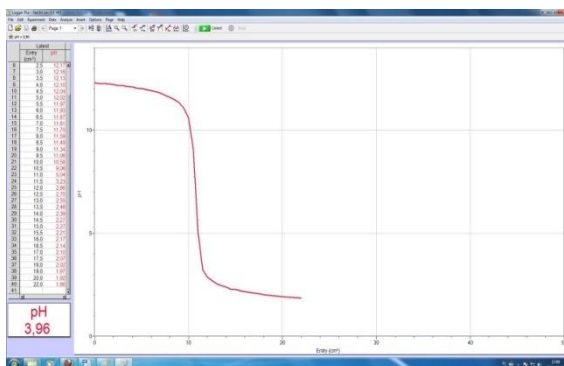
Miareczkowanie roztworu kwasu HCl roztworem $0,1 \text{ M NaOH}$



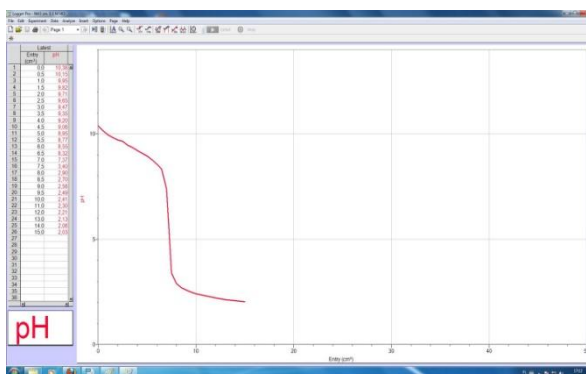
Miareczkowanie roztworu kwasu HCl roztworem 0,1 M NH_3



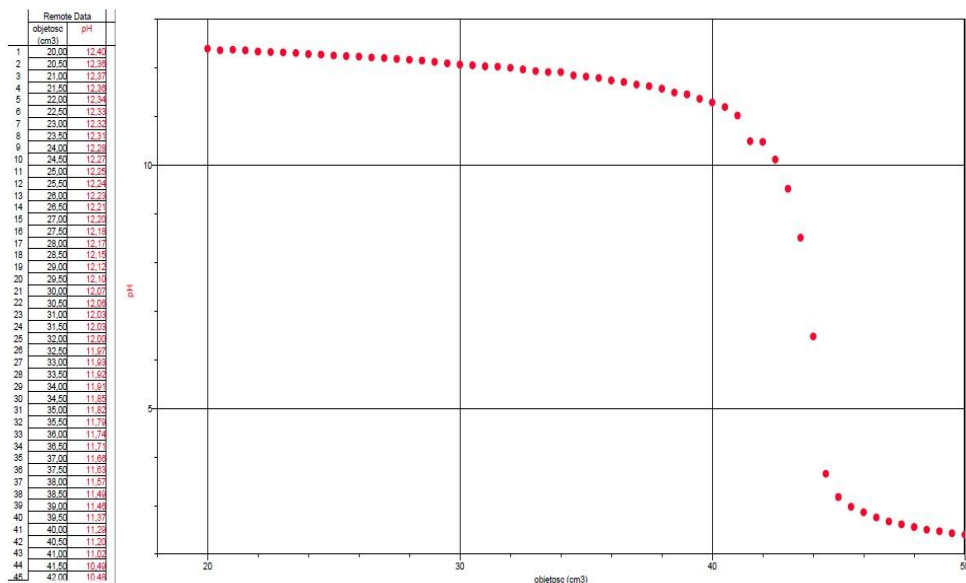
Miareczkowanie roztworu zasady NaOH roztworem 0,1 M CH_3COOH



Miareczkowanie roztworu zasady NaOH roztworem 0,1 M HCl



Miareczkowanie roztworu zasady NH_3 roztworem 0,1 M CH_3COOH



Rys. 4. Przykładowa krzywa miareczkowania roztworu NaOH 0,01 M roztworem HCl przy zastosowaniu systemu Vernier – przy inaczej ustawionych parametrach – zamiast krzywej – seria punktów

PODSUMOWANIE

Nauczyciel chemii powinien umieć rozwijać kreatywność oraz postawę badawczą swoich podopiecznych. Z tego powodu niezbędne jest jego właściwe przygotowanie do tej roli, nie tylko merytoryczne, ale również z punktu widzenia planowania oraz organizacji pracy.

Z drugiej strony współczesna nauka opiera się na eksperymentach prowadzonych z użyciem zaawansowanej technologicznie aparatury, która sterowana jest za pomocą komputerów.

Z uwagi na fakt, że wszystkie ogniwa procesu dydaktycznego powinny być spójne, a także proces ten powinien nadszukać za osiągnięciami nauki, zasadnym jest połączenie prostych eksperymentów chemicznych z elementami pomiarów instrumentalnych, które później mogą być zastosowane na niższych etapach edukacji, przy użyciu dostępnej, relatywnie niedrogiej, przenośnej, aparatury.

Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe przesłanki należy zaopatrzyć przyszłych nauczycieli w konieczne umiejętności, stwarzając im możliwość samodzielnego projektowania tego typu eksperymentów w ramach zajęć z dydaktyki chemii oraz komputerowego projektowania pomocy dydaktycznych.

Literatura

- Bergandy W.: *Od alchemii do chemii kwantowej*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1997
- Bogdańska-Zarembina A., Houwalt A.: *Metodyka nauczania chemii*. PZWS, Warszawa 1970
- Burewicz A., Gulińska H. i in.: *Dydaktyka chemii*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1993
- Burewicz A., Gulińska H., Miranowicz N., Szmidt H.: *Edukacyjne programy komputerowe w nauczaniu chemii*. Zakład Wydawnictw Ogólnopolskiej Fundacji Edukacji Komputerowej – Oddział w Jeleniej Górze, Jelenia Góra 1992
- Burewicz A., Gulińska H.: *Walory programów komputerowo-magnetowidowych w nauczaniu chemii*. „Komputer w Szkole” 1990, 7/8
- Cieśla P., Paško J. R.: *Porównanie osiągnięć uczniów przy zastosowaniu rzeczywistych doświadczeń a ich filmowych wersji*. [W:] *Aktuální aspekty pregraduální přípravy a postgraduálního vzdělávání učitelů chemie*. Ostravská Univerzita v Ostravě, Přírodovědecká Fakulta, Ostrava 2006
- Cieśla P., Stawoska I., Nodzyńska M.: *Zastosowanie doświadczeń i eksperymentów chemicznych w koncepcji wirtualnej szkoły rozwijającej uzdolnienia chemiczne uczniów szczególnie uzdolnionych*. [W:] *Dydaktyka chemii (i innych przedmiotów przyrodniczych) od czasów alchemii po komputery*. Red. M. Nodzyńska. ZChDCh UP, Kraków 2011
- Fickert L.: *Realizacja trickowych filmów dydaktycznych przy użyciu komputera*. [W:] *Technologia kształcenia i jej uwarunkowania*. PWN, Warszawa 1976
- Fried: *Dydaktyczna funkcja eksperymentu*. [W:] *Integracja, eksperyment oraz zagadnienia ochrony środowiska w dydaktyce chemii*. Red. S. Wajda. Wydaw. ODN, Wrocław 1989
- Galska-Krajewska A., Pazdro K.: *Dydaktyka chemii*. PWN, Warszawa 1990
- Gessek Z.: *Funkcja poznawcza i kształcąca szkolnego eksperymentu szkolnego*. „Chemia w Szkole” 1971, nr 4, s. 189
- Gessek Z.: *Wyniki nauczania a eksperyment chemiczny*. „Chemia w Szkole” 1972, nr 1
- Grzechynka A., Kaliszan R., Nodzyńska M., Nodzyński T.: *W góry z przewodnikiem-doświadczenia przyrodnicze podczas wycieczki edukacyjnej*. [W:] *Materiały Pokonferencyjne XII Ogólnopolskiego Zjazdu PSNPP nt. Kwartet przyrodniczy w doświadczeniach*. Opole 2005
- Guide for developing Establish Teaching and Learning Units*. Project ESTA-BLISH. AMSTEL Institute, 2010
- Janiuk M., Persona A.: *Zastosowanie mikrokomputerów w nauczaniu chemii*. „Chemia w Szkole” 1988, nr 5
- Kłoczko E.: *Metody eksperymentalne w chemii*. PWN, Warszawa 1978
- Koczwarą K., Nodzyńska M.: *Rola doświadczeń wspomaganych technikami multimedialnymi w podnoszeniu wyników nauczania chemii wśród dzieci z niepełnosprawnością intelektualną w stopniu lekkim*. [W:] *Metodologické otázky výskumu*

- v didaktike chémie: zborník príspevkov zo seminára doktorandského štúdia.* Red. Z. Beníčková, M. Mlka, Z. Slivová. Trnavská Univerzita v Trnave, Pedagogická Fakulta, Trnava 2011
- Konieczna M. Ł.: *Rola doświadczeń szkolnych w licealnym kursie chemii organicznej.* „Chemia w Szkole” 1970, 1, s. 7
- Konieczna M.: *Szkolny eksperyment chemiczny w świetle nowoczesnego systemu dydaktycznego.* „Chemia w Szkole” 1975, nr 1, s. 32
- Langner A., Langer M.: *Eksperyment w nauczaniu chemii organicznej.* „Chemia w Szkole” 1974, nr 2, s. 79
- Linn M. C., Davis E. A., Bell P.: *Internet Environments for Science Education.* Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Mahwah, NJ 2004
- Matysik Z., Lenarcik B.: *Nauczanie chemii kurs podstawowy.* PZWS, Warszawa 1971
- Moroń T., Nodzyńska M.: *Kiedy komputer powinien zastąpić eksperyment? [W:] Informacni technologie ve vyuce chemie.* Gaudeamus, Hradec Kralove 2004
- Nęczyński L.: *Eksperyment na lekcjach chemii.* „Oświata i Wychowanie” 1986, nr 24, s. 16
- Nodzyńska M., Paśko J.R.: *Interaktywne komputerowe doświadczenia w nauczaniu chemii.* [W:] *Materiałach XVII Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego-Komputer w Edukacji.* AP, Kraków 2007
- Nodzyńska M.: *Rola doświadczeń chemicznych jako jednej z metod kształcenia.* [W:] *Acta Facultatis Paedagogicae Universitatis Tyrnaviensis – Seria D Vedy o Vychove a vzdelavani.* Trnava 2005
- Paśko I.: *Kształtowanie postaw proekologicznych uczniów klas I-III szkół podstawowych.* Wydaw. Naukowe AP, Kraków 2001
- Paśko J. R.: *Czyżby zmierzch szkolnych doświadczeń chemicznych? Aktualni aspekty pregraduální přípravy a postgraduálního vzdělávání učitelů chemie.* Ostravská Univerzita v Ostravě, Přírodovědecká Fakulta, Ostrava 2006
- Pietruszewska M.: *Podstawy dydaktyki chemii.* UMK, Toruń 1985
- Połosik W. S.: *Zwiększenie funkcji poznawczej eksperymentu chemicznego.* „Chemia w Szkole” 1970, nr 3, s. 135
- Rossa E.: *Rola doświadczeń w nauczaniu chemii.* „Chemia w Szkole” 1964, nr 3, s. 112
- Skinder N.: *Rola eksperymentu w procesie nauczania chemii.* [W:] *Osiągnięcia szkolne z chemii.* T. 7. IKN, Warszawa 1988
- Soczewka J.: *Metody kształcenia chemicznego.* WSiP, Warszawy 1988
- Soczewka J.: *Podstawy nauczania chemii.* WSiP, Warszawa 1975
- Wygotski L.: *Psychologia pedagogiczna.* 1991
- Хаджиллиев В., Такучев Н., Атанасов П.: *Приложение на автоматизирани компютърни методи в обучението по химия на студентите-медици в Тракийски университет.* “Стара Загора” 2005, V. 3